



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EXOESQUELETO LIGERO Y  
COMPACTO A FIN DE AUMENTAR LA VELOCIDAD Y DISMINUIR EL  
ESFUERZO DE UNA PERSONA PROMEDIO AL CAMINAR**

**ACUÑA JUAN  
BERDUGO CAMILO  
CERVANTES JANIA  
GIRALDO JUAN  
MORENO ANIBAL  
NUÑEZ LUISA  
OLIVARES DANIEL  
OCHOA YESID  
PAREJO MANUEL  
PERTUZ SHARON  
SAAVEDRA LAUREN  
VANEGAS LUZ  
VILORIA JUAN  
Ing. ANDRES RODRIGUEZ TOSCANO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
PROGRAMA DE ING. CIVIL  
IV SEMESTRE  
BARRANQUILLA  
03/11/2016**



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EXOESQUELETO LIGERO Y  
COMPACTO A FIN DE AUMENTAR LA VELOCIDAD Y DISMINUIR EL  
ESFUERZO DE UNA PERSONA PROMEDIO AL CAMINAR**

**ACUÑA JUAN  
BERDUGO CAMILO  
CERVANTES JANIA  
GIRALDO JUAN  
MORENO ANIBAL  
NUÑEZ LUISA  
OLIVARES DANIEL  
OCHOA YESID  
PAREJO MANUEL  
PERTUZ SHARON  
SAAVEDRA LAUREN  
VANEGAS LUZ  
VILORIA JUAN**

**Presentado a: Ing. ANDRES RODRIGUEZ TOSCANO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
PROGRAMA DE ING. CIVIL  
IV SEMESTRE  
BARRANQUILLA  
03/11/2016**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

***Barranquilla 04 de octubre***

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, queremos darle las gracias a Dios por estar con nosotros cada día que pasa, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente.

Agradecemos a los profesores y monitores de la universidad de la costa cuc, quienes fueron guía a lo largo de este periodo para el desarrollo del proyecto.

A nuestras familias, por apoyarnos en la realización de cada una de las partes de los objetivos de nuestro proyecto.

A Andrés Rodríguez Toscano, tutor del presente desarrollo quien con su apoyó, guió para direccionar y culminar el trabajo en el que se representa toda la síntesis y conclusión de nuestro periodo electivo.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	9
OBJETIVOS .....	11
Objetivo general .....	11
Objetivo específico .....	11
ANTECEDENTES .....	12
MARCO TEORICO.....	15
FUERZA ELÁSTICA .....	16
LEYES DE NEWTON.....	17
MOMENTOS DE FUERZA .....	19
BENCHMARKING .....	20
ANÁLISIS PARAMÉTRICO MATRIC EVALUACIÓN COMPARATIVA DE PRODUCTOS COMPETITIVOS ( <i>BENCHMARKING</i> ).....	20
PROPUESTAS.....	25
PROPUESTA PROYECTO FINAL .....	28
CALCULOS.....	29
PLANOS.....	40
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	41
PRESUPUESTO .....	42
CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFIA .....	44
ANEXOS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ensayo del prototipo esqueleto Hal. [2].....	12
Figura 2: Proceso de programación de exoesqueleto robótico Rex [3] .....	13
Figura 3: Demostración de prototipo [4] .....	14
Figura 4. Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad .....	21
Figura 5. Passive Elastic .....	21
Figura 6: Diseño propuesta 1 .....	25
Figura 7: Diseño propuesta 2 .....	26
Figura 8: prototipo de exoesqueleto .....	29
Figura 9: diagrama de cuerpo libre.....	30
Figura 10: simulación dinámica k1 .....	37
Figura 11: simulación dinámica k2. ....	37
Figura 12: Simulación dinámica k3.....	37
Figura 13: diseño de prototipo.....	38
Figura 14: ensamblaje piezas inferiores.....	39
Figura 15: ensamblaje piezas superiores.....	39

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis paramétrico matricial.....	23
Tabla 2. Comparación de pesos y longitudes.....	24
Tabla 3: elección de propuestas.....	28
Tabla 4: Cronograma de actividades.....	41
Tabla 5. Precio de cada material.....	42

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Peso vs longitud.....	24
Grafico 2: KE vs T .....	32
Grafico 3: N.M vs T .....	32
Grafico 4: KE vs T .....	32
Grafico 5: N.M vs T .....	32
Grafico 6: KE vs T .....	33
Grafico 7: N.M vs T .....	33
Grafico 8: KE vs T .....	34
Grafico 9: N.M vs T .....	34
Grafico 10: KE vs T .....	35
Grafico 11: N.M vs T .....	35
Grafico 12: KE vs T .....	36
Grafico 13: N.M vs T .....	36



## INTRODUCCION

La tecnología de hoy se ha visto inmersa en casi todos los campos de trabajo, como el militar, la salud, entre otros, siendo la medicina uno de los más beneficiados, debido a que estas tendencias impulsan el desarrollo de herramientas especializadas que facilitan el trabajo del médico y la recuperación de los pacientes. Lo que estamos presenciando hoy en el mundo medico puede compararse con el descubrimiento de la penicilina, el desarrollo de las máquinas de rayos X y la llegada de la cirugía para trasplantes.

Aproximadamente el 1% de la población del mundo depende de las sillas de ruedas para moverse. Con el envejecimiento de la población este número aumenta desmesuradamente. Esto significa que aproximadamente, 3 millones de americanos, 5 millones de europeos, un total aproximado de 10 millones de ciudadanos de países desarrollados y 60 millones de personas alrededor del mundo dependen de las sillas de ruedas. Mientras que las sillas de ruedas han mejorado en su calidad durante las últimas décadas, las opciones para las personas con problemas de movilidad son limitadas. Todo eso está a punto de cambiar. Una de las herramientas que buscan mejorar la calidad de vida de las personas, son los exoesqueletos.

Un exoesqueleto es un dispositivo capaz de otorgar facultades motoras de forma pasiva o activa, donde la primera se refiere a dispositivos que requieren energía de las personas para funcionar, y en estos casos los exoesqueletos proporcionan facultades extra a las naturales y se encuentran comúnmente en inteligencia militar y en rehabilitación.[1]

Este proyecto se realiza con el interés principal de aportar tecnologías que generen beneficio puntual a las personas que, por diversas razones, han perdido la capacidad de caminar, total o parcialmente, y que se les recomienda un tratamiento de rehabilitación. Es importante destacar que

este trabajo consiste únicamente en el diseño mecánico y construcción de un exoesqueleto de miembros inferiores, permitiéndole al portador aumentar su velocidad y disminuir el esfuerzo que tiene al caminar.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Diseñar y construir un exoesqueleto ligero y compacto que permita aumentar la velocidad y disminuir el esfuerzo de una persona promedio al caminar.

### **Objetivo específico**

- Calcular los procesos necesarios para lograr el diseño del prototipo.
- Identificar los fundamentos dinámicos y estáticos que rigen el prototipo
- Generar un mínimo esfuerzo al caminar y realizarlo con rapidez al usar el prototipo.

## ANTECEDENTES

En nuestro proceso de investigación, pudimos encontrar una variedad de proyectos e información que se han presentado a lo largo del tiempo los cuales se encuentran relacionados con el tema central a trabajar, y nos permiten tener bases para la realización de nuestro proyecto.

En primer lugar, se tiene que para el año 2009 la compañía japonesa Cyberdyne presentó en Japón esqueletos robóticos que mejoran la movilidad y ayudan a sus portadores a llevar cargas pesadas.

Los esqueletos, bautizados como HAL (Miembro híbrido de Ayuda por sus siglas en inglés) ayudarán a los débiles y a los lesionados a desplazarse, los cuales fueron fabricados en serie desde finales del año pasado sus principales destinos serán los hospitales y los centros de mayores. Los HAL también facilitan la movilidad y aumentan la fuerza para llevar objetos pesados.

Con un peso de unos diez kilos, este dispositivo se ata a la cintura y tiene una batería y un ordenador en su parte trasera. También tienen sensores para recoger las pequeñas señales eléctricas enviadas a la superficie de la piel desde el cerebro. Así, ayuda a los portadores a moverse tal y como están pensando.

Con una velocidad es de 1.8 kilómetros de media en sus desplazamientos, la compañía comenzó a alquilarlos en octubre y el coste de su uso durante un mes es de unos 1.500 euros. Los HAL forman parte de un proyecto del gobierno japonés para extender el uso de robots en asistencia. [2]



Figura 1: Ensayo del prototipo esqueleto Hal. [2]

En esta misma labor de investigación y consulta se encontró un artículo redactado por la autora: Anja Schütz, maxon motor ag llamado exoesqueleto robótico: para una mejor calidad de vida. En este artículo se hace referencia a un proyecto el cual fue llevado acabo aproximadamente, nueve años antes de la presentación del artículo, es decir para el año 2004. Se calcula que en todo el mundo hay aproximadamente 185 millones de personas que necesitan una silla de ruedas a diario. Una empresa con sede en Auckland (Nueva Zelanda) ha desarrollado una tecnología robótica que abre grandes perspectivas para el futuro, ya que puede ayudar a aquellas personas que padecen de limitaciones de movilidad a valerse de nuevo por sí mismas: el exoesqueleto robótico de Rex Bionics. Los motores maxon integrados proporcionan a las extremidades un movimiento uniforme. Hayden Allen es un muchacho completamente normal de Nueva Zelanda, desde un accidente de motocicleta, en el que su médula espinal resultó dañada, está atado a la silla de ruedas. Los médicos le dijeron en su momento que nunca volvería a andar. Pero eso no era cierto. Hayden es uno de los primeros usuarios del exoesqueleto robótico. [3]



**Figura 2: Proceso de programación de exoesqueleto robótico Rex [3]**

✚ Este robot se encarga de realizar una simulación y ambientación de la locomoción humana, el robot emplea un sistema acondicionamiento para cada paciente, se encarga de realizar marcha humana con el paciente logrando estimular músculos, articulaciones y nervios, este robot aumenta la capacidad de recuperación de una persona que por alguna enfermedad no puede caminar, emplea una estructura rígida dividida en dos partes, la primera es una estructura de sostenimiento encargada de retener el peso del paciente y mantenerlo en una posición erguida mientras se realiza la terapia; la segunda estructura es el exoesqueleto, encargado de simular movimiento motriz de una persona sobre una caminadora. se encarga de unir el robot a la persona mediante correas de ajuste y dispositivos de fijación aptos para el humano de manera que el robot pueda fácilmente guiar el movimiento en la parte inferior de la persona, logrando la estimulación de las extremidades inferiores.

La marcha realizada por el autómatas se hace sobre una banda caminadora proporcionándole al paciente una superficie rígida en la cual él pueda soportar parte de su peso y así acelerar su recuperación. [4]

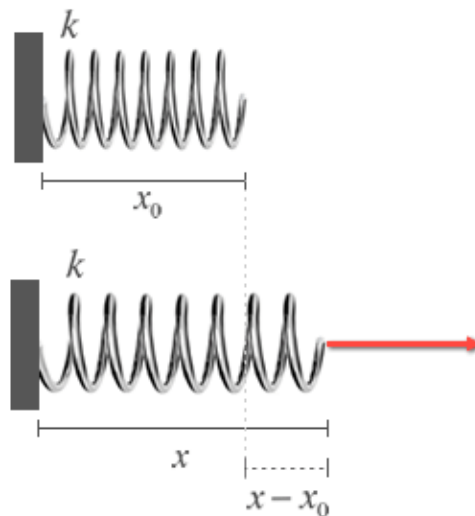


**Figura 3: Demostración de prototipo [4]**

## MARCO TEORICO

Un exoesqueleto es un armazón metálico externo que ayuda a moverse a su portador y a realizar cierto tipo de actividades, como lo es el cargar peso. Durante su funcionamiento, una serie de sensores biométricos detectan las señales nerviosas que el cerebro envía a los músculos de nuestras extremidades cuando vamos a comenzar a andar. La unidad de procesamiento del exoesqueleto responde entonces a estas señales, las procesa y hace actuar al exoesqueleto en una fracción de segundo. Entonces decimos que un exoesqueleto es básicamente un "robot que se viste".

### Ley de Hooke



#### ley de Hooke

Al aplicar una fuerza en el muelle de la figura (arriba), este se alarga (abajo). La deformación que se le produce ( $x - x_0$ ) es directamente proporcional a la fuerza que le aplicamos.

**G1: Demostración de ley de Hooke [4]**

Cuando aplicas una fuerza a un muelle, probablemente este se alargará. Si duplicas la fuerza, el alargamiento también se duplicará. Esto es lo que se conoce como la ley de Hooke. La ley de Hooke establece que el alargamiento de un muelle es directamente proporcional al módulo de la fuerza que se le aplique, siempre y cuando no se deforme permanentemente dicho muelle.

$$F=k \cdot (x-x_0)$$

Dónde:

- F es el módulo de la fuerza que se aplica sobre el muelle.
- k es la constante elástica del muelle, que relaciona fuerza y alargamiento. Cuanto mayor es su valor más trabajo costará estirar el muelle. Depende del muelle, de tal forma que cada uno tendrá la suya propia.
- $x_0$  es la longitud del muelle sin aplicar la fuerza.
- x es la longitud del muelle con la fuerza aplicada.<sup>5</sup>

## FUERZA ELÁSTICA

Según el principio de acción reacción o tercera ley de Newton, en cada interacción existen dos fuerzas. Esto implica que si ejercemos una fuerza sobre un muelle, este último ejercerá también sobre nosotros otra fuerza de igual dirección y módulo aunque de sentido contrario. Dicha fuerza, recibe el nombre de fuerza elástica o restauradora.

La fuerza elástica es la fuerza que ejerce un muelle que no ha superado su límite de elasticidad y sufre una fuerza que lo deforma temporalmente.<sup>6</sup>

$$\vec{F}_e = -k \cdot \vec{x}$$

Características de la fuerza elástica

- Su dirección sigue el eje longitudinal del muelle.



- Su sentido es contrario a la deformación que sufre el muelle.
- Su módulo se puede obtener por medio de la siguiente expresión:

$$F_e = k \cdot x.$$

## LEYES DE NEWTON

### Primera ley de newton

Si no existen fuerzas externas que actúen sobre un cuerpo, éste permanecerá en reposo o se moverá con una velocidad constante en línea recta. El movimiento termina cuando fuerzas externas de fricción actúan sobre la superficie del cuerpo hasta que se detiene.

Galileo expuso que si no existe fricción, el cuerpo continuará moviéndose a velocidad constante, ya que ninguna fuerza afectará el movimiento. Cuando se presenta un cambio en el movimiento de un cuerpo, éste presenta un nivel de resistencia denominado INERCIA. Si has ido en un vehículo que ha frenado de improviso y tú has debido detenerte con tus propias manos, has experimentado lo que es la inercia. Por tanto, a la primera ley de Newton también se le conoce como ley de la inercia.

Todo cuerpo permanece en estado de reposo o continúa con un movimiento rectilíneo uniforme, siempre y cuando una fuerza externa no actúe sobre él.

### Principio de la dinámica

El segundo principio de la dinámica requiere previamente la definición de la cantidad de movimiento **P** de una partícula, como

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

De manera que la ley se enuncia

*“La derivada de la cantidad de movimiento de una partícula es igual a la resultante de las fuerzas aplicadas sobre ella.”*

En forma matemática

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \dot{\mathbf{p}} = \sum_i \mathbf{F}_i$$

En la mayoría de las ocasiones, la masa de una partícula es una constante por lo que la derivada de la cantidad de movimiento es igual a

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \overbrace{\frac{dm}{dt}}^{=0} \mathbf{v} + m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$$

De donde llegamos a la forma habitual de expresar la segunda ley de Newton

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Con  $\mathbf{F}$  la resultante de las fuerzas aplicadas sobre la partícula.

### Segunda ley de newton

Determina que si se aplica una fuerza a un cuerpo, éste se acelera. La aceleración se produce en la misma dirección que la fuerza aplicada y es inversamente proporcional a la masa del cuerpo que se mueve. Recuerda que la fuerza y la aceleración son magnitudes vectoriales por lo que tienen un valor, una dirección y un sentido. Si la masa de los cuerpos es constante, la fórmula que expresa la segunda ley de Newton es:

$$F=ma.$$

En cambio cuando la masa del cuerpo aumenta, la aceleración disminuye. Entonces, debes establecer la cantidad de movimiento (p) que equivale al producto de la masa de un cuerpo por su velocidad. Es decir:  $p = m \times v$ .

Siempre que una fuerza no equilibrada actúe sobre un cuerpo, se produce una aceleración en la dirección de la fuerza que es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

### Tercera ley de newton

Postula que la fuerza que impulsa un cuerpo genera una fuerza igual que va en sentido contrario. Es decir, si un cuerpo ejerce fuerza en otro cuerpo, el segundo cuerpo produce una fuerza sobre el primero con igual magnitud y en dirección contraria. La fuerza siempre se produce en pares iguales y opuestos. Por esta razón, a la tercera ley de Newton también se le conoce como ley de acción y reacción.

Cuando una fuerza determinada actúa sobre un cuerpo, éste reacciona con una fuerza con igual magnitud, pero en sentido opuesto.<sup>7</sup>

### MOMENTOS DE FUERZA

El momento de una fuerza  $M\vec{}$ , también conocido como torque, momento dinámico o simplemente momento, es una magnitud vectorial que mide la capacidad que posee una fuerza para alterar la velocidad de giro de un cuerpo. Su módulo se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha$$

Dónde:

- $M$  es el módulo del momento de una fuerza  $F\vec{}$  que se aplica sobre un cuerpo. Su unidad en el S.I. es el newton por metro ( $N \cdot m$ ).
- $F$  es el módulo de dicha fuerza. Su unidad en el S.I. es el newton.
- $r$  es el módulo del vector de posición que une el centro o eje de giro con el punto origen de la fuerza aplicada. Su unidad en el S.I. es el metro.
- $\alpha$  es el ángulo formado entre  $F\vec{}$  y  $r\vec{}$ .

Si la resultante de las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo son las responsables de provocar los cambios en la velocidad con la que se traslada, el momento resultante de las fuerzas que sufre un cuerpo es el responsable de los cambios en la velocidad con la que rota.<sup>8</sup>

## **BENCHMARKING**

### **ANÁLISIS PARAMÉTRICO MATRIC EVALUACIÓN COMPARATIVA DE PRODUCTOS COMPETITIVOS (*BENCHMARKING*).**

En estas investigaciones realizadas y analizadas se pueden evidenciar ciertas competencias relacionadas con la misma funcionalidad de Schnell Bein, las dichas competencias son las siguientes:

- Prototipo 1. Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad
- Prototipo 2. Passive Elastic.
- Prototipo 3. Money et al.

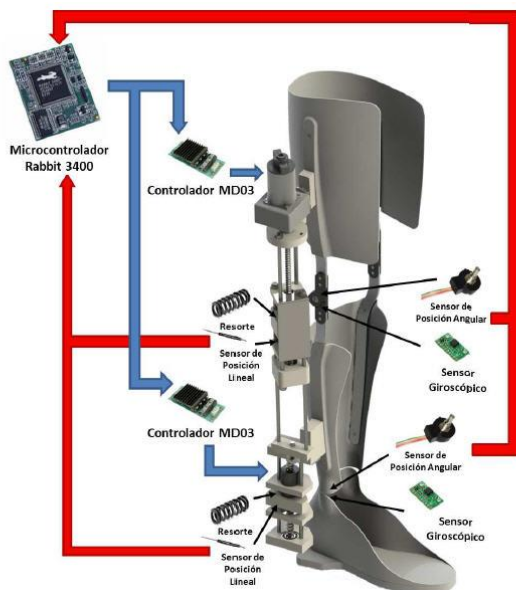
#### **Análisis paramétrico.**

Para definir los parámetros claves en el desarrollo del Schnell Bein, se realizó un breve comparación entre los productos ya existentes en el mercado, desarrollados con los mismos funcionamientos del Schnell Bein o que sean similares a este, ya sea que aumente la velocidad, reduzca el esfuerzo o haga las dos actividades. El resultado de este análisis nos arroja los siguientes parámetros claves:

- Peso (N).
- Material de fabricación
- Masa.
- Longitud.

De esta manera se identificaron algunos parámetros relacionados con el desempeño del dispositivo, mediante el análisis paramétrico correlacionar. Así mismo, mediante al

análisis paramétrico cronológico se identificó el avance de la tecnología a lo largo del tiempo. En las Figuras 1 y 2 se presentan algunos dispositivos analizados.



**Figura 4. Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. [6]**



**Figura 5. Passive Elastic.[7]**



**ial.**

En el análisis paramétrico matricial se analizaron los parámetros anteriormente mencionados como el peso, material de fabricación (relacionando cual fuese el más económico), masa (considerando que no debe ser mucha para una mayor comodidad para él usuario) y longitud del prototipo. De igual manera, los prototipos existentes analizados fueron:

- Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad.
- Passive Elastic.
- Money et al.

En la Tabla 1, se muestra de manera detallada el análisis de los parámetros de cada uno de los prototipos.

<b>Análisis paramétrico</b>	<b>Prototipo 1</b> Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad	<b>Prototipo 2</b> Passive Elastic	<b>Prototipo 3</b> Money Et al
Peso	357.206625 N	4.93443 N	19.62 N
Material de fabricación	Polipropileno con barras de duraluminio	Aluminio, fibra de carbono.	Aluminio, fibra de carbono
Masa	36.4125 Kg	0.503 Kg	2 Kg
longitud	83cm Largo	60 cm	55 cm

**Tabla 1. Análisis paramétrico matricial.**

Con la información obtenida mediante este análisis, fue posible realizar el análisis paramétrico correlacional.

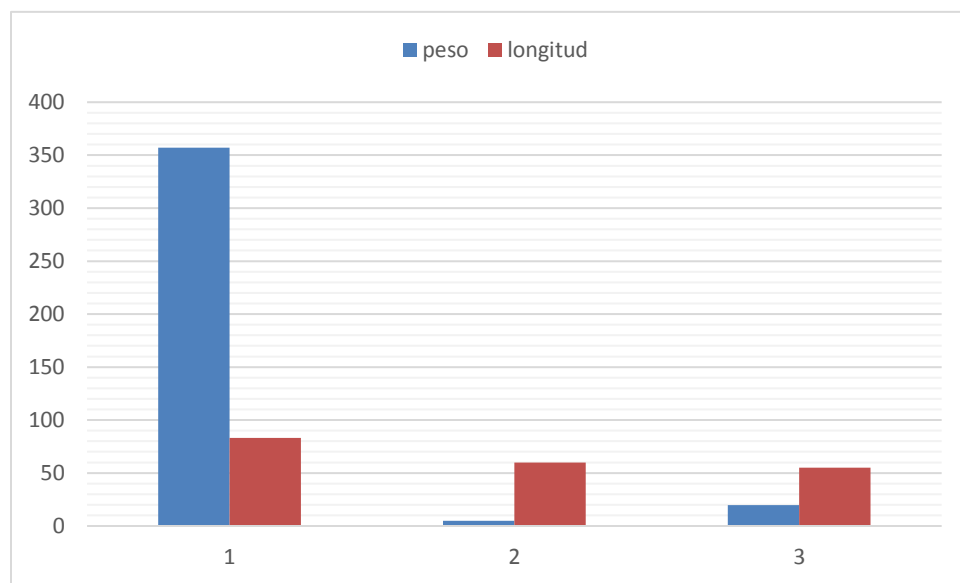


### Análisis Paramétrico Correlacional.

En el análisis paramétrico correlacional, se evaluó la relación entre el peso y la longitud que proporcionaba cada prototipo. Como parte de los resultados se obtuvo que exista una fuerte relación entre estos parámetros y se identificaron a dos características principales y esenciales, prototipos diseñados por metal, ya que es un material económico y prototipos diseñados con una longitud promedio de 66cm.

peso	longitud	
357,206625	83	prototipo 1
4,93443	60	prototipo 2
19,62	55	prototipo 3

**Tabla 2. Comparación de pesos y longitudes**



**Grafica 1. Peso vs longitud.**

## PROPUESTAS

- **Propuesta 1:**

Materiales: utensilios ligero (plástico, pasta) y económico, una banda elástica.

**Explicación:** Este prototipo tiene como objetivo principal aumentar la velocidad de la persona y a la misma vez reducir su esfuerzo al caminar, para lo cual contara con un amarre ubicado en la pantorrilla de la pierna, el cual es adaptable a cualquier tipo de piernas, ya sea delgada o gruesa. Este prototipo el cual estará creado con pasta o plástico (según se desee) llegara hasta el talón para darle un mejor ajuste, a quien está usándolo, la banda elástica estará ubicada en la parte de atrás de los músculos de la pierna, y estará atada desde el primer amarre, hasta el tendón de Aquiles, la cual permitirá reemplazar las funciones de un resorte. Todo esto para darle una mejor amortiguación a la pierna y pueda reducir el esfuerzo de la persona al caminar.

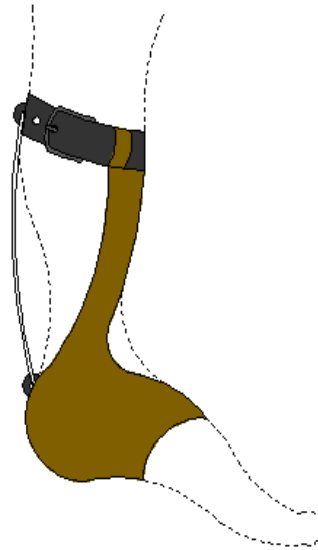


Figura 6: Diseño propuesta 1

### Propuesta 2:

- Materiales:
- Dos bandas elásticas
- prototipo echo en material económico
- gato hidráulico.

**Explicación:** el prototipo consta de aumentar la velocidad de la persona y de esta misma manera reducir su esfuerzo. Para ello este tendrá dos amarres, una en la parte superior de la pierna, y la otra en la parte inferior, para darle un mejor ajuste, que sea cómodo y adaptable a cualquier tipo de pierna. Las dos bandas elásticas estarán sujetadas en la parte de atrás de los músculos de la pierna, para darle una cierta amortiguación al caminar y la elongación de estas permita la reducción del esfuerzo; la primera banda estará desde el primer amarre del prototipo (parte superior de la pierna), hasta el segundo amarre (parte inferior de la pierna), y de esta forma, la segunda banda elástica, estará ubicada, desde el segundo amarre, hasta el tendón de Aquiles.

La función que tendrá el gato hidráulico ubicado sobre la rodilla, es que este permitirá una mejor rotación en esta articulación, para que de esta manera, pueda aumentar la velocidad y disminuir el esfuerzo producido por la persona determinada. Este gato hidráulico estará sujeto de manera segura, desde el primer amarre hasta el segundo amarre.

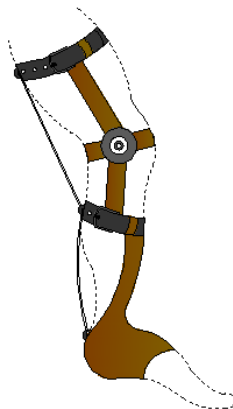


Figura 7: Diseño propuesta 2

**Propuesta 3:** En este prototipo se busca como objetivo demostrar un poco lo que la ciencia ha avanzado con respecto al exoesqueleto, ya que este tiene como propósito principal ayudar a mejorar el ritmo de vida de una persona promedio con dificultades físicas, pero ¿Cómo va estar formado? Para la realización de dicho prototipo, el procedimiento planteado fue la aplicación de conceptos relacionados con la hidráulica, ya que para la movilidad de este se utiliza como elemento importante el agua.

Elegimos este prototipo porque queremos dar a conocer una idea mejorada de lo que es un exoesqueleto y su funcionamiento. Investigando un poco vimos esta una buena manera de dar a entender nuestro objetivo, siendo que los materiales utilizados son accesibles, ya que se pueden encontrar fácilmente.

Para la realización de este prototipo, lo que haremos es un ejemplo de una pierna de una persona promedio la cual se movilizará con la ayuda de jeringas, siendo esta pierna sostenida por una base de madera.

#### Materiales:

- Madera
- Jeringas
- Tubos
- Tornillos
- Laminas en icopor

A continuación hicimos la siguiente tabla, donde analizamos y evaluamos el comportamiento de nuestras tres propuestas, ante un conjunto de variables que intervienen en la elección del proyecto a realizar, que nos darán mayor claridad respecto a algunas variables.

		PROPUESTAS		
		Propuesta # 1	Propuesta # 2	Propuesta # 3
V A R I A B L E S	<b>Peso</b>	4	3	3
	<b>Reducción de esfuerzo</b>	4	5	3
	<b>Velocidad</b>	2	5	2
	<b>Tecnología</b>	4	5	2
	<b>Innovación</b>	3	5	3
	<b>Conocimientos empleados</b>	3	4	4
	<b>facilidad</b>	4	4	5
<b>Total</b>		24	31	22

Tabla 3: elección de propuestas.

## PROPUESTA PROYECTO FINAL

A medida que avanza el tiempo el hombre ha buscado la manera de solucionar y satisfacer sus necesidades, entre estas se encuentra en disminuir el esfuerzo que realiza el ser humano al llevar a cabo sus actividades, ya sean físicas o mentales, por ello el grupo investigativo ha tomado la determinación de diseñar un prototipo que aumente la velocidad del ser humano, ya sea al correr o al caminar, y de esta forma se reduzca su esfuerzo en un porcentaje determinado, es decir que la persona pueda reducir las energías utilizadas al realizar estas actividades, que a diario se practican, para lo cual se plantearon tres propuestas de cuál podría ser la forma del prototipo que cumpla con unas series de características, tales como, aumentar la velocidad, disminuir el esfuerzo, utilización de materiales económicos, innovación, entre otras.

se utilizaron una serie de variables para comparar las características de cada una de las propuestas y al darle calificación a cada uno de los prototipos se arrojó una serie de resultados, los cuales nos dan a conocer el prototipo más apto para su realización, el cual cumple con las objetivos antes mencionados.

## CALCULOS



adaptable a cualquier tipo.

- Banda elástica: permite que por medio de la elongación que genera, amortigüe y reduzca el esfuerzo de la persona al caminar.
- Bisagra con rodamiento: permite una mejor rotación de la rodilla para dar mayor velocidad a la persona.
- Sistema de amarre: permite mejor ajuste hacia la pierna y es

Figura 8: prototipo de exoesqueleto

### Análisis de una banda elástica de miembro interior

#### Análisis Estático

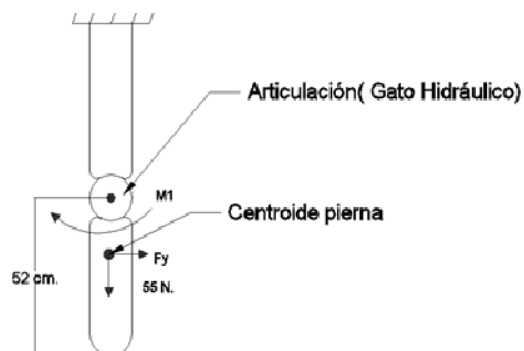
El análisis se hace para una persona adulta con la siguiente información:

$$m = 95 \text{ kg} * 5.9/100 = 9.605 \text{ kg}$$

$$L = 52 \text{ cm} = 0.52 \text{ m}$$

$$\Rightarrow W = 9.605 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 94 \text{ N}$$

El mecanismo solo soporta el 10 % del peso, es decir, soportaría solamente 9.4 N



**$F_1$ : Fuerza de impulso**

**$M_1$ : Momento creado por banda elástica**

Al estirar completamente la pierna, la banda elástica se estira. Seleccionando una banda amarilla que ejerce una fuerza de 0.5 kg F a 25 % de elongación y de 1.3 kg F a 100 % de elongación.

$$0.5 \text{ kg F} = 4.9 \text{ N}$$

$$1.3 \text{ kg F} = 12.75 \text{ N}$$

$$\Rightarrow M_1 = F \cdot r = 12.75 \text{ N} \cdot 0.52 \text{ m}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_x = M_x = 0$$

$$= 6.63 \text{ N}$$

$$+\uparrow \sum F_y = F_y - W + F_r = 0$$

$$\Rightarrow F_y = W - F_r = 9.4 \text{ N} - 12.75 \text{ N}$$

$$F_y = -3.25 \text{ N}$$

La fuerza  $F_1$  promedio al caminar (fuerza de impulso) es de 60 N

$$+\rightarrow \sum F_x = F_x + F_1 = 0$$

$$\Rightarrow F_x = -F_1 = -60 \text{ N}$$

$$+\swarrow \sum F_z = F_z = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M_x = M_x = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M_y = M_y = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M_z = M_z + M_1 + F_r \cdot r = 0$$

$$\Rightarrow M_z = -6.63 \text{ Nm} - 60 \text{ N} \cdot 0.26 \text{ m}$$

$$M_z = 22.23 \text{ Nm}$$

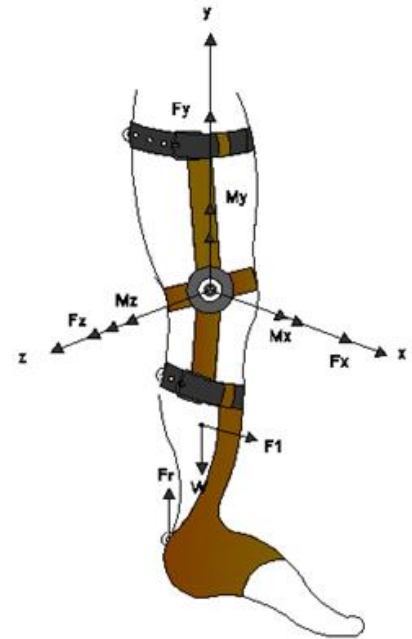


Figura 9: diagrama de cuerpo libre.

## Análisis Dinámico

Con esta articulación solo se consigue que la rodilla solo gire para o extender la pierna, por lo cual tenemos que la pierna se encuentra en rotación pura.

Para la fuerza  $F_1 = 60 \text{ N}$ , se tiene:

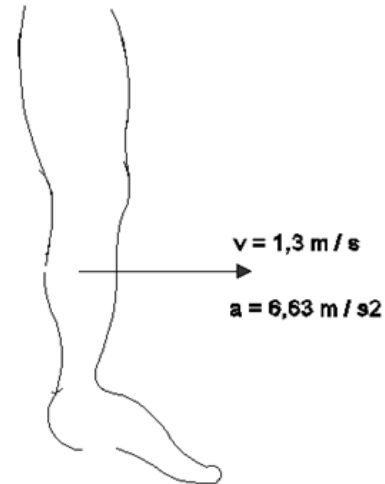
$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{60 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9.05 \text{ kg}} = 6.63 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

En ese instante la  $V_t$  es:

$$a = \frac{V_t^2}{r}$$

$$\Rightarrow V_t = \sqrt{a_t \cdot r} = \sqrt{6.63 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.26 \text{ m}}$$

$$V_t = 1.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



En los presentes cálculos se tomaron valores para k, para determinar la constante de elasticidad y llevar a cabo las simulaciones dinámicas, las cuales nos permitirán ver el ahorro de energía para escoger el elástico que cumpla los objetivos para nuestro prototipo.

## Prueba 1

Datos:

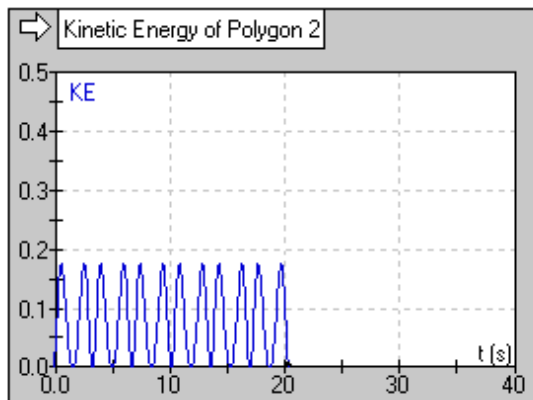
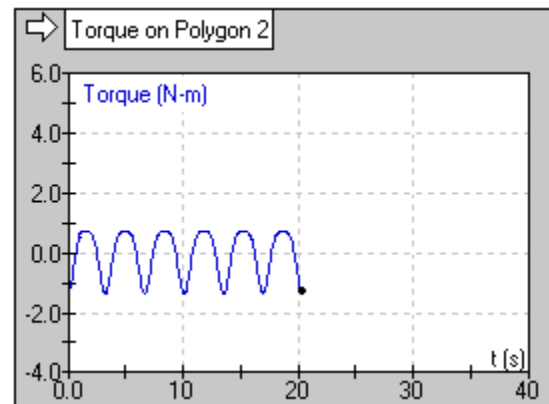
$$m = 96 \text{ Kg}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$K = 0$$

$$W = 94 \text{ N}$$



**Energía cinética.****Gráfico 2: KE vs T****Torque.****Gráfico 3: N.M vs T**

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 6 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.18 \text{ J.}$$

$$\text{Torque} = 0.8 \text{ Nm}$$

**Prueba 2**

Datos:

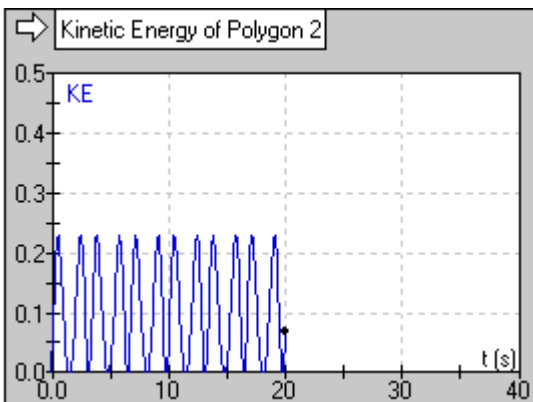
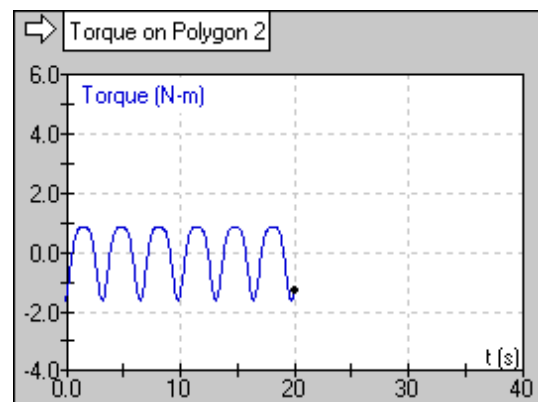
$$m = 96 \text{ Kg}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$\text{Longitud del resorte} = 1.2 \text{ m}$$

$$K = 20 \text{ N/m}$$

$$W = 94 \text{ N}$$

**Energía cinética.****Gráfico 4: KE vs T****Torque****Gráfico 5: N.M vs T**

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 6 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.22 \text{ J}$$

$$\text{Torque} = 0.8 \text{ Nm}$$

### Prueba 3

Datos:

$$m = 96 \text{ Kg}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$\text{Longitud del resorte} = 1.2 \text{ m}$$

$$K = 40 \text{ N/m}$$

$$W = 94 \text{ N}$$

#### Energía cinética.

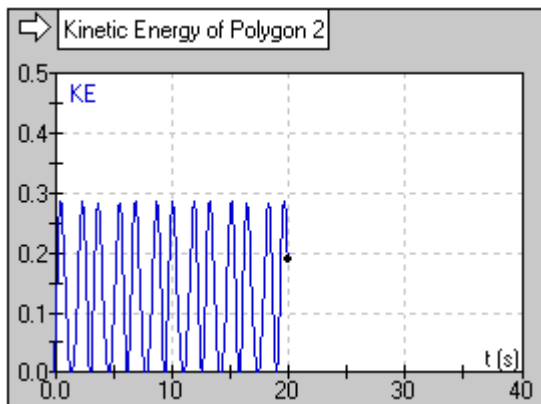


Grafico 6: KE vs T

#### Torque.

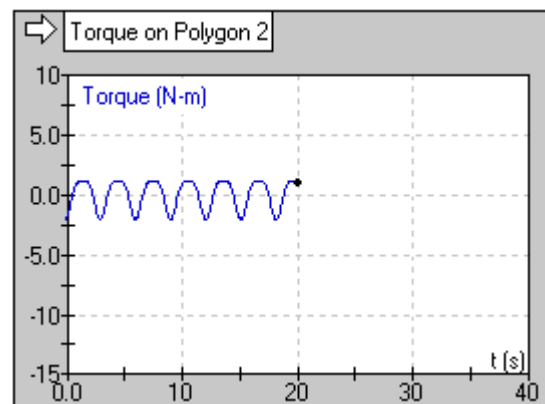


Grafico 7: N.M vs T

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 6.5 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.28 \text{ J}$$

$$\text{Torque} = 0.7 \text{ Nm}$$

#### Prueba 4

Datos:

$$m = 96 \text{ Kg}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$\text{Longitud del resorte} = 1.2 \text{ m}$$

$$K = 60 \text{ N/m}$$

$$W = 94 \text{ N}$$

Energía cinética.

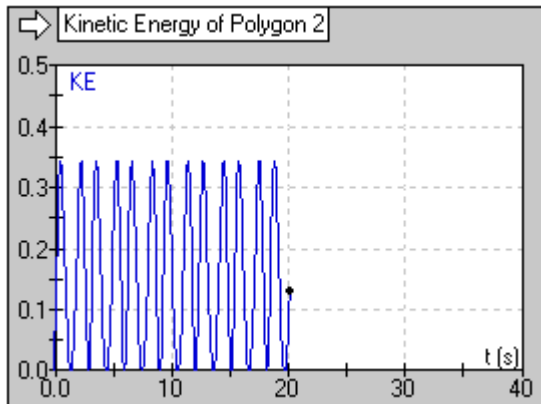


Grafico 8: KE vs T

Torque.

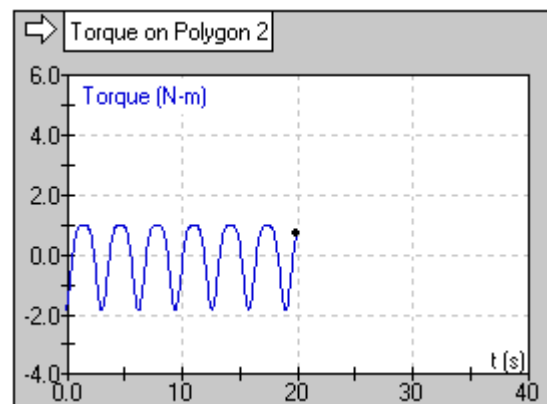


Grafico 9: N.M vs T

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 7 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.34 \text{ J}$$

$$\text{Torque} = 0.1 \text{ Nm}$$

### Prueba 5

Datos:

$$m = 96 \text{ Kg}$$

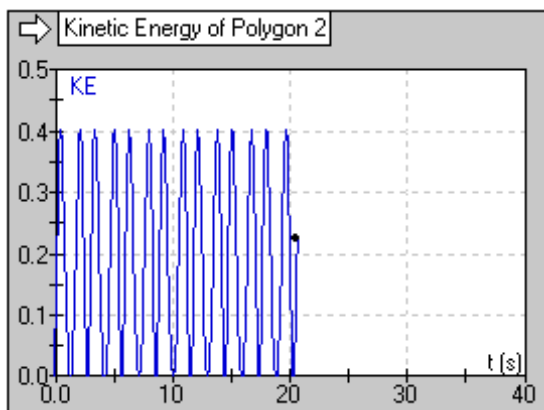
$$F = 60 \text{ N}$$

$$\text{Longitud del resorte} = 1.2 \text{ m}$$

$$K = 80 \text{ N/m}$$

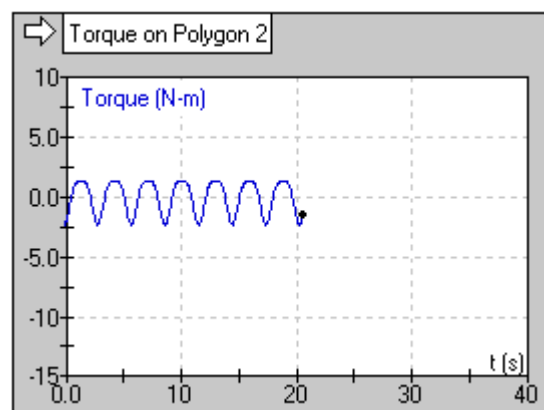
$$W = 94 \text{ N}$$

**Energía cinética.**



**Grafico 10: KE vs T**

**Torque.**



**Grafico 11: N.M vs T**

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 7 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.4 \text{ J}$$

$$\text{Torque} = 0.7 \text{ Nm}$$

### Prueba 6

Datos:

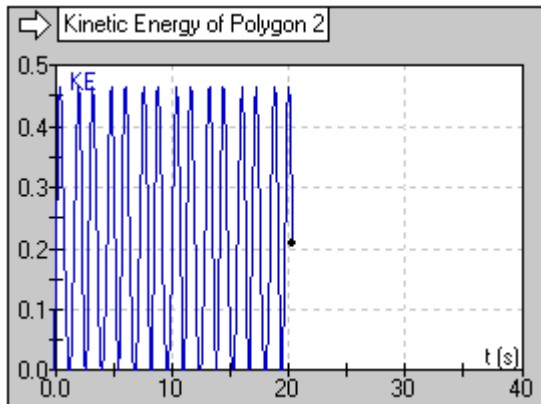
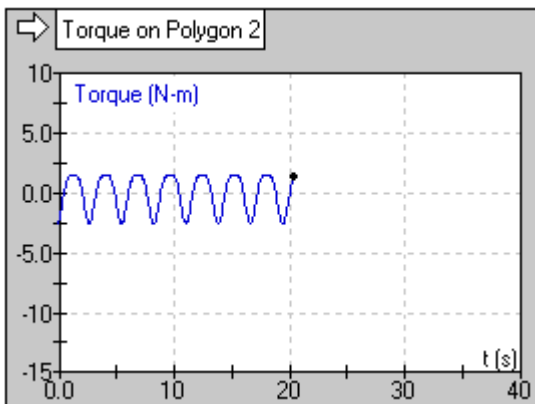
$$m = 96 \text{ Kg}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$\text{Longitud del resorte} = 1.2 \text{ m}$$

$$K = 100 \text{ N/m}$$

$$W = 94 \text{ N}$$

**Energía cinética.****Grafico 12: KE vs T****Torque.****Grafico 13: N.M vs T**

La longitud de onda  $\lambda$  indica un movimiento, es decir cada cresta indica que sube la pierna, y cada valle indica que baja la pierna. Por lo tanto en base a la gráfica anterior se dieron 7 pasos en un tiempo de 20 seg.

$$KE = 0.46 \text{ N/m}$$

$$\text{Torque} = 0.8 \text{ Nm}$$

Después de haber realizado varias pruebas se puede observar que la energía cinética aumenta al aumentar la constante de elasticidad K, pero el torque se mantiene constante, por lo tanto se debe escoger la prueba que haya generado mayor torque, y esa es la prueba número 4. Ya que presenta un torque de 1 Nm y se avanza 7 pasos en 20 segundos.

Ahora se procede a hallar el módulo de Young

$$K = \frac{A \cdot E}{L}$$

Donde:

$$K = 60 \text{ N/m} \quad A = 0.005 \text{ m}^2 \quad L = 1.2 \text{ m}$$

$$E = \frac{K \cdot L}{A}$$

$$E = \frac{60 \text{ N/m} \cdot 1.2 \text{ m}}{0.005 \text{ m}^2}$$

$$E = 14400 \text{ Pa}$$

$$E = 14400$$

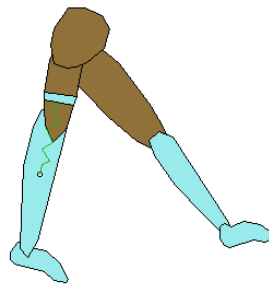
Movimiento de las piernas teniendo en cuenta el ahorro de energía de las piernas al caminar implementando las bandas elásticas con diversas constantes de elasticidad.



**Figura 10: simulación dinámica  $k_1$**  —



**Figura 11: simulación dinámica  $k_2$ .**



**Figura 12: Simulación dinámica  $k_3$**

### Ensamblaje y partes del prototipo

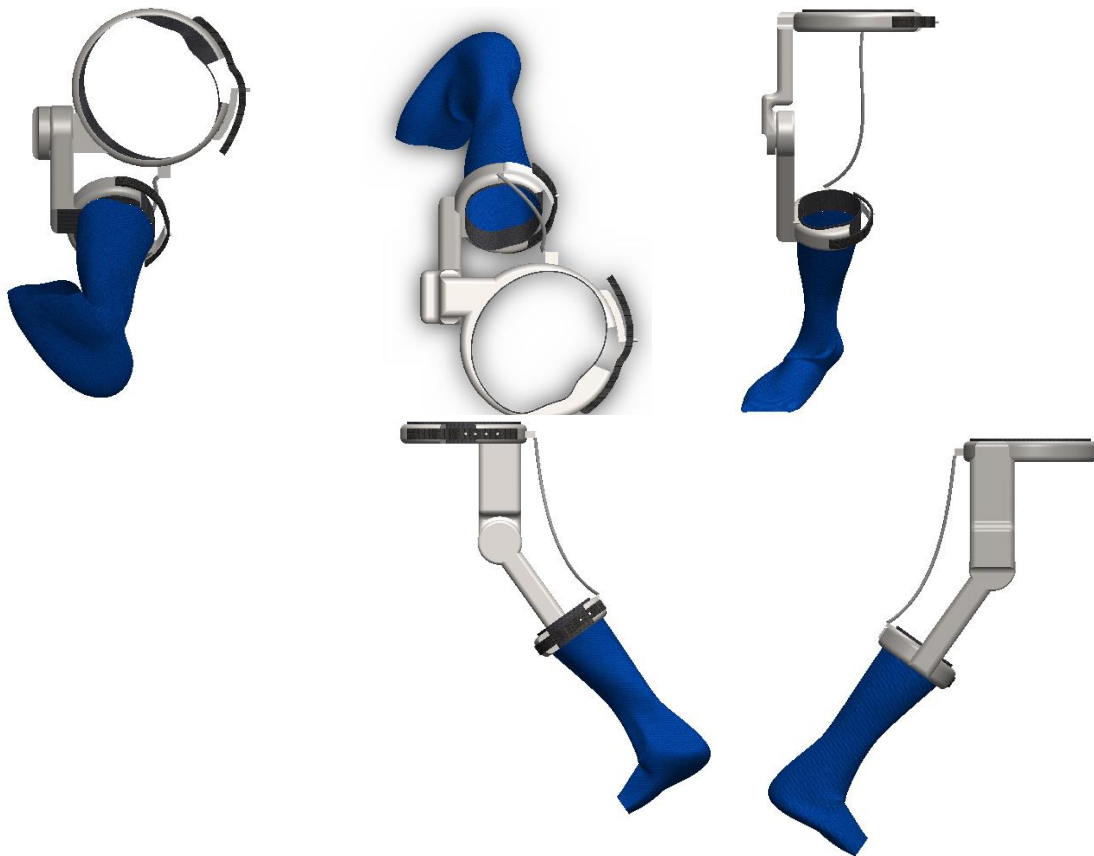


Figura 13: diseño de prototipo

## ENSAMBLAJE



Figura 14: ensamble piezas inferiores

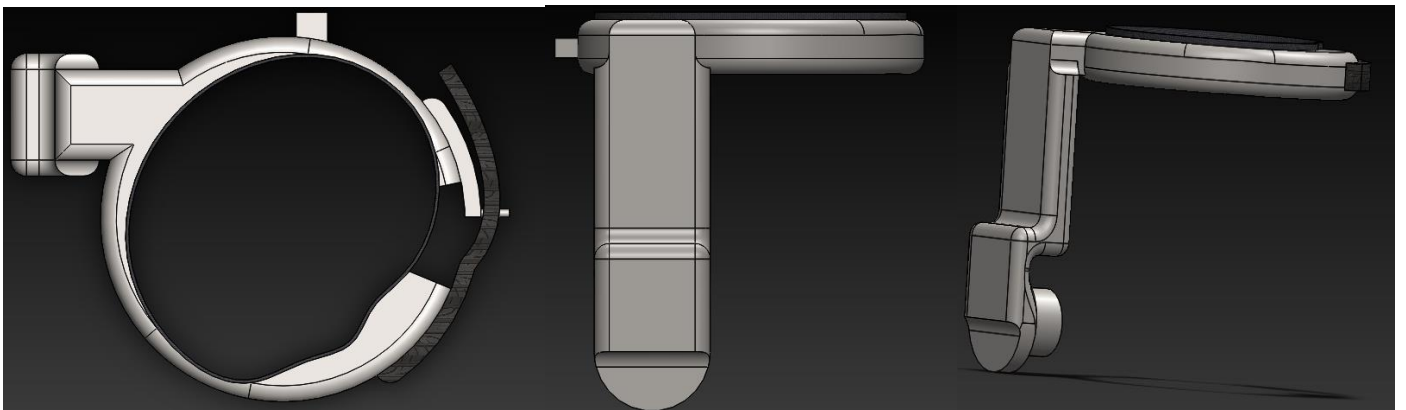
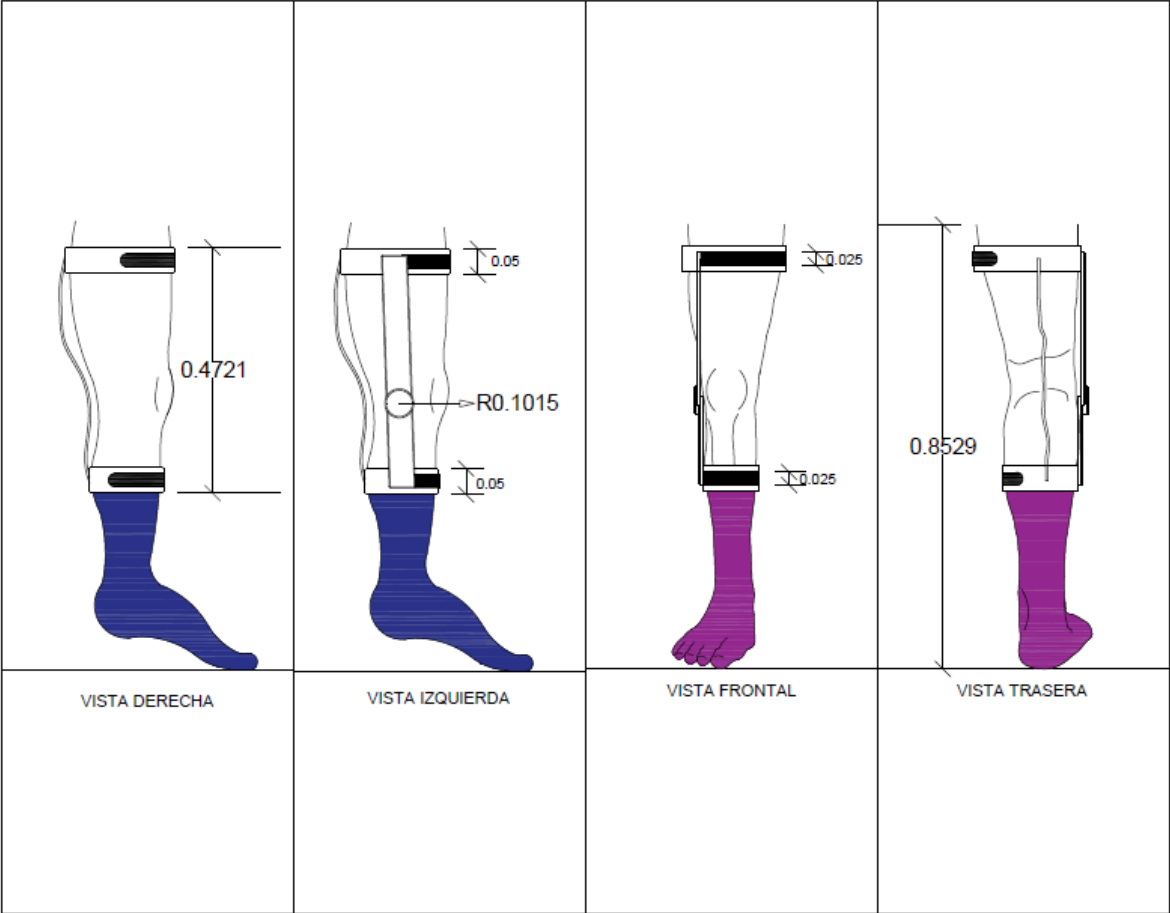


Figura 15: ensamble piezas superiores



PLANOS



### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Descripción	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Realización de propuesta																
Entrega de propuesta																
Correcciones por parte del docente																
Desarrollo de Objetivos del proyecto																
Entrega del anteproyecto																
Elaboración Marco Teórico																
Diseño conceptual terminado y simulaciones																
Presupuestos																
Elaboración de conclusiones																
Ajustes finales del proyecto																
Sustentación del proyecto.																

Tabla 4: Cronograma de actividades.

## PRESUPUESTO

En esta tabla se darán a conocer los materiales que utilizamos para la realización de nuestro proyecto con su respectivo valor por unidad.

Cantidad	Materiales	Valor unitario	Valor total
2	Bisagra hidráulica	\$14900	\$29800
1	Banda elástica (E 14400)	\$25000	\$25000
3	Láminas de aluminio	\$5000	\$15000
1	Aerosol blanco	\$8500	\$8500
1	Costura de las bandas	\$5000	\$5000
1	Lima triangular	\$3000	\$3000
12	Remaches con arandelas	\$100	\$1200
2	Broca	\$3500	\$7000
2	Elástico negro	\$1000	\$2000
1	Velcro	\$1000	\$1000
12	Tornillos	\$42	\$500
12	Arandelas	\$10	\$200
1	Mano de obra	\$35000	\$35000

**Tabla 5. Precio de cada material.**

**\*Nota:** La banda elástica utilizada tiene un módulo de Young de  $14400 \frac{N}{m^2}$ .

Para la construcción del proyecto se necesitó ayuda de profesionales en el tema y por supuesto esto fue bien remunerado.

En total el presupuesto gastado, incluyendo la mano de obra, fue de \$133200.

## CONCLUSIONES

Luego de realizar el proyecto anterior pudimos concluir que los conceptos de dinámica y estática fueron de suma importancia para poder determinar el diseño y llevar a cabo los cálculos de nuestro proyecto. A su vez, logramos concretar que como futuros ingenieros debemos tener conocimientos de programas como solidworks, por medio del cual se logró realizar simulaciones y validaciones para el posterior ensamble de nuestro prototipo.

Luego de este proceso se seleccionó este prototipo para mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas con problemas en sus extremidades inferiores, lo cual le permite disminuir el esfuerzo y aumentar la velocidad al caminar.

## BIBLIOGRAFIA

[1] BALLESTEROS MUÑOZ, Michael Steven - MARTINEZ ORJUELA, Jhonathan Andrés, Diseño mecánico y construcción de un exoesqueleto de miembros inferiores que emula la marcha humana. [En línea]. Bogota D.C. universidad militar nueva granada, 2015 [Citado 16- agosto- 2016] Disponible en internet, file:///C:/Users/user/Documents/semestre%204/Dinamica/Trabajo%20Final%20Exoesquel eto%20de%20Marcha%20de%20mimbros%20inferiores%20R5%20(1).pdf

[2] L MUNDO. Un esqueleto mecánico para mejorar la movilidad. [En línea]. Avenida de San Luis 25 - 28033 MADRID. Una web de Unidad EditorialMadrid (2009) - el mundo es ciencia. 05-08-2009 – 2016. [Citado 16- agosto-2016] Disponible en internet, <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/08/03/ciencia/1249304539.html>.

[3] ANJA SCHÜTZ, maxon. Exoesqueleto robótico: para una mejor calidad de vida- motor [En línea] ibérica s.a. C/ Polo Norte nº 928850, Torrejón de Ardoz, 2013. [Citado 16- agosto-2016]. Disponible en internet: [www.maxonmotor.es/maxon/view/application/EXOSKELETT-AB](http://www.maxonmotor.es/maxon/view/application/EXOSKELETT-AB).

[4] LÓPEZ, Ricardo. HIPOLITO, Aguilar. SALAZAR, Sergio. LOZANO, Rogelio. Jorge A. Torres Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. Volume 11, Issue 3, 2014, Pages 304-314, ISSN 1697-7912, -Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI.

[5] Tippens, P. (1992). Física 1. McGraw-Hill Interamericana, S. A. Ilustración: S.a. (s.f.). Coche. ISFTIC – Banco de imágenes y sonidos. Recuperada el 7 de diciembre de 2009 [citado 22/septiembre / 2016] disponible en file:///bancoimagenes.isftic.mepsyd.es

[6] CORONADO, Gregorio FERNÁNDEZ, José Luis. Como medir fuerzas. [En línea]. [Citado 22- septiembre- 2016] Disponible en internet, <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-hooke#contenidos>

[7] CORONADO, Gregorio FERNÁNDEZ, José Luis. Ley de Hooke. [En línea]. [Citado 22- septiembre- 2016] Disponible en internet, <https://www.fisicalab.com/apartado/como-medir-fuerzas#contenidos>

[8] CORONADO, Gregorio FERNÁNDEZ, José Luis. Momento de una fuerza. [En línea]. [Citado 22- septiembre- 2016] Disponible en internet, <https://www.fisicalab.com/apartado/momento-fuerza#contenidos>

ANEXOS

			
VISTA DERECHA	VISTA IZQUIERDA	VISTA FRONTAL	VISTA TRASERA